

Etude de la contribution des paramètres phéno-morphologiques dans la sélection du blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans le climat semi-aride

Study of the morphological and phenological parameters contribution in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) selection In semi-arid climate

Lakhdar Mazouz^{*1} & Hamana Bouzerzour²

¹Département d'agronomie, faculté des sciences de la nature et de la vie
Université Abbès Laghrou, Khenchela, 40000, Algérie.

²Laboratoire de valorisation des ressources biologiques naturelles, Départ de biologie, Faculté des sciences, Université Ferhat Abbas, Sétif, 19000, Algérie.

Soumis le : 15/10/2016

Révisé le : 17/10/2017

Accepté le : 18/10/2017

ملخص

تهدف الدراسة إلى إبراز دور بعض العوامل الفينولوجية والمورفولوجية مثل الفترة الخضرية والكتلة الحيوية الهوائية وارتفاع القش في اختيار حوالي 20 نوعاً من القمح القاسي في المنطقة شبه الجافة. وقد أجريت هذه الدراسة خلال عام 2003/2002، في المعهد التقني للمحاصيل الحقلية في سطيف و المعهد التقني للخضر والزراعات الصناعية بأم البواقي. كان الجهاز التجريبي المعتمد هو عبارة عن كتل عشوائية كاملة. واستندت القياسات إلى الكتلة الحيوية الهوائية في مرحلة الإنبال وطول المرحلة الخضرية، والمردود ومكوناته. وأظهرت النتائج أن المردود المرتفع يرجع إلى عدد الحبات لكل متر مربع، وإلى ارتفاع القش. وتساهم الكتلة الحيوية الهوائية ومؤشر الحصاد بتأثيراتهما المباشرة العالية نسبياً في تنمية المردود. ويمكن للعوامل المورفولوجية الفينولوجية أن تكون مؤشرات إيجابية لإنتاج محاصيل القمح ويمكن أن تؤخذ بعين الاعتبار من أجل اختيار أصناف ذات تأقلم أفضل مع الظروف شبه الجافة.

Résumé

Le travail a pour objectif l'étude du rôle de quelques paramètres phénologiques et morphologiques comme la période végétative, la biomasse aérienne et la hauteur de la chaume dans la sélection d'une vingtaine de génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans la zone semi-aride.

La présente étude a été conduite au cours de l'année 2002/ 2003, à l'ITGC de Sétif et de l'ITCMI d'Oum El Bouaghi. Le dispositif expérimental adopté était en blocs aléatoire complet.

Les mesures ont porté sur la biomasse aérienne au stade épiaison, la durée de la phase végétative, le rendement et ses composantes.

Les résultats montrent que le rendement élevé est dû au nombre de grains par mètre carré, et à la hauteur de la chaume. La biomasse aérienne et l'indice de récolte de par leurs effets directs assez élevés participent à l'élaboration du rendement.

Les paramètres morpho-phénologiques peuvent être des indicateurs positifs pour la production de la culture de blé et peuvent être pris en compte pour une sélection plus pertinente de variétés adaptées aux conditions semi-arides.

Mots clés : blé dur (*Triticum durum*), adaptation, biomasse, hauteur des chaumes, indice de récolte, semi-aride.

Abstract

The objective was to investigate of the contribution of some phenological and morphological traits such as the duration of the vegetative phase, above ground biomass accumulated at heading and plant height to the adaptation of twenty varieties of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under semi-arid conditions

The present investigation was conducted during the 2002/2003 year on the ITGC experimental of Setif and the ITCMI experimental of Oum El Bouaghi.. Plant material was grown in a randomized complete blocs design. Measured traits were crop dry matter accumulated at heading, duration of vegetative period, grain yield and yield components, water use efficiency to produce above ground biomass and grain yield, crop growth rate.

Results showed that high yield was due to the contribution of high grain number /m². Grain number/m² and plant height contributed at heading. Biomass and harvest index showed significant direct effects on grain yield formation.

The morpho- phenological parameters can by their close relationship with the yield to be good indicators for a more relevant selection of varieties adapted to semi arid conditions of Algeria.

Key words: durum wheat, adaptation, biomass, plant height, grain yield, harvest index, semi-arid

* Auteur correspondant : lakhdar.mazouz@yahoo.fr

1. INTRODUCTION

L'Algérie importe actuellement jusqu'à $3,5 \times 10^6$ tonnes de blé dur. Le rendement national en grains du blé dur est le plus faible du bassin méditerranéen (Belaid, 2000) ; il tourne bon an mal an autour de 8 qx/ha. Les rendements fortement soumis aux aléas climatiques de la région méditerranéenne oscillent autour de 10 q/ha. (Chetmi, 2009). La majeure partie des superficies emblavées se trouve localisée sur les hautes plaines caractérisées par l'altitude, des hivers froids, un régime pluviométrique insuffisant et irrégulier. La pluviométrie et les températures sont sujettes à de grandes variations intra et inter-annuelles, qui affectent sérieusement les rendements (Bouzerzour *et al.* 2002).

Le manque d'eau reste le facteur le plus limitant auquel fait face la culture du blé dur, quoique des études récentes montrent que ce sont plutôt les basses températures hivernales et printanières qui handicapent le plus cette spéculation (Annichiarico *et al.* 2002, Annichiarico *et al.* 2005) Tout progrès sensible des agro-systèmes basés sur cette culture, dans la zone semi-aride, semble conditionné par l'amélioration de l'efficacité de l'eau (Richards *et al.* 1997).

L'utilisation de variétés locales bien adaptées aux conditions les plus difficiles, mais possédant un faible potentiel de rendement grain est presque de règle, alors que l'adoption des nouvelles variétés reste conditionnée par la stabilité de la production et la gestion du risque (Merah *et al.* 1999, Bahlouli *et al.* 2005a). Les contraintes abiotiques souvent mises en cause sont les basses températures printanières (gel tardif), la sécheresse (déficit hydrique) et les hautes températures terminales (Mekhlouf *et al.* 2005, Bahlouli *et al.* 2005a).

La sélection variétale est pratiquée sur la base du rendement grain (Mekhlouf et Bouzerzour, 1998). Les résultats de plusieurs études s'accordent à montrer que le rendement grain est un caractère très variable, polygénique de nature, de faible héritabilité et le plus souvent soumis à de fortes interactions génotype x milieu (Bouzerzour et Dekhili, 1995). L'efficacité de la sélection peut être augmentée si des caractéristiques physiologiques et/ ou morphologiques liées au rendement grain peuvent être identifiées et utilisées comme des critères de sélection indirecte (Acevedo *et al.*, 1991 ; Richards *et al.*, 1997 ; Sayre *et al.*, 1998).

Le recours à des caractères agronomiques, utilisables en parallèle avec le rendement grain, dans le cadre d'une approche intégrative, pourrait constituer une méthode efficace dans la recherche d'une meilleure stabilité de la production (Benmahammed *et al.*, 2005, Bensemane et Bouzerzour, 2005). L'étude de la stabilité du rendement grain nécessite de lier la notion de régularité de production à des caractéristiques facilement mesurables sur la plante.

Plusieurs caractères adaptatifs, d'ordres morphologiques, phénologiques et physiologiques, participent à l'amélioration de la tolérance aux stress abiotiques. Ils donnent, de ce fait, une certaine régularité à la production en milieux variables (Eljaafari et Paul. 1999 ; Boukeria, 2004; Bahlouli et al., 2005b). La présente recherche se propose comme objectif d'étudier les rôles joués par la durée du cycle, la biomasse et la hauteur du chaume dans la minimisation de la variation du rendement grain sous les conditions climatiques variables des hautes plaines orientales.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Conduite de l'expérimentation

L'étude a été conduite sur les sites des stations expérimentales de l'ITCMI de Oum El Bouaghi et ITGC de Sétif au cours de l'année universitaire 2002/ 03. Les deux stations sont situées dans la région des hautes plaines de l'est algérien. La zone appartient au climat semi-aride typiquement continental méditerranéen.

L'essai mis en place est constitué de 20 génotypes de blé dur.

Le tableau 1 dresse la liste des variétés de blé dur étudié, l'origine et la randomisation au champ.

Tableau -1- Listes des variétés de blé dur étudiées, origine et randomisation au champ

Pedigree	Randomisation			Origine
1- Mrb16//Enté/Mario	1	31	57	Syrie
2- Inrat69	2	28	58	Tunisie
3- Sahel 77	3	27	49	Algérie
4- Bicare	4	26	48	Syrie
5-Senator Capelli	5	23	54	Italie
6- Massara1	6	29	41	Syrie
7-Hd/Mt//Huevos de Oro	7	21	45	Algérie
8- Cyprus1	8	25	42	Chypre
9- Chen's	9	24	47	Syrie
10- Belikh 2	10	35	59	Syrie
11-H3/Polonicum	11	40	46	Algérie
12- Mrb 5	12	32	56	Syrie
13- Semito	13	22	44	Italie
14- Waha	14	34	52	Algérie
15-Daki	15	36	60	Syrie
16- Beliouni3258	16	33	53	Algérie
17- MBBachir	17	38	50	Algérie
18- Heider	18	37	55	Syrie
19- 439/Ads/97	19	39	51	Italie
20- Derraa	20	30	43	Syrie

Le matériel végétal est semé sur des parcelles élémentaires de six rangs de 5 m de long avec un espace inter-rangs de 20 cm. La superficie parcellaire est de 6 m². Le dispositif expérimental des blocs compléments randomisés a été utilisé sur le site de Sétif, dont le semis a été effectué le 17 du mois de novembre 2002. L'essai installé à OEB, semé le 31 du mois de décembre 2002, est constitué d'une seule répétition, à cause de la quantité limitée des semences du jeu des variétés testées.

Le précédent cultural est une jachère intégrale sur le site de Sétif. Les techniques culturales appliquées sur ce site sont un labour profond réalisé au cours du mois décembre, suivi de deux passages du cover crop, au printemps pour reprendre le labour et détruire les adventices installées. L'épandage de 46 unités/ha de superphosphate à 46%, et du passage d'un cultivateur sont effectués juste avant l'opération semis. L'apport de 75 kg/ha d'engrais azoté sous forme d'urée à 46%, suivi du désherbage au GranStar, à raison de 12 grammes mélangés dans 250 l d'eau/hectare, sont réalisés au stade plein stade tallage

2.2 Suivi et notations

Le suivi a consisté en la prise des notations concernant la date d'épiaison, pour estimer la durée de la phase végétative, comptée en jours calendaires du semis au jour où 50% des épis sortent de leur gaine et la biomasse aérienne accumulée à ce stade. La vitesse d'accumulation de la matière sèche au cours de la période pré-anthèse est estimée par le rapport de la biomasse aérienne mesurée au stade épiaison sur la durée de la phase végétative.

A maturité, on a procédé à la récolte d'un segment de rang, long de 1 m, pour estimer le rendement, les composantes du rendement et la biomasse aérienne produite. La hauteur de la plante a été prise du

sol au sommet de la strate moyenne des épis avant la récolte des essais. Le rendement grain a été aussi estimé à partir de la récolte machine des essais.

Le rendement grain et la biomasse aérienne du bottillon de végétation ont servi à déterminer l'indice de récolte. Le comptage du nombre d'épis produit par unité de surface de sol a été déterminé à partir de la végétation du bottillon récolte. Le poids de 1000 grains est obtenu à partir du poids de 250 graines, comptées par parcelle élémentaire.

Le nombre de grains/épi et par unité de surface sont déduits par calcul. L'efficacité d'utilisation des eaux pluviales est obtenue par le rapport du rendement grain et la biomasse aérienne mesurée à maturité sur la pluie enregistrée au cours du cycle de développement.

Pour le feuillage ; et juste après récolte, 10 feuilles par variété ont été prises puis on a mesuré leur longueur ensuite la largeur d'une feuille a été mesurée ; la surface foliaire (SF, cm²) est définie comme la moitié du produit de la longueur totale (L, cm) par la largeur moyenne (l, cm) des feuilles. (Milroy et Goyen, 1995).

$$SF \text{ (cm}^2\text{)} = \frac{1}{2} (L \cdot l).$$

Appréciation du niveau hydrique du végétal :

L'un des principaux paramètres du niveau hydrique de la plante est la teneur relative en eau (TRE ou RWC). Celle-ci est obtenue selon la méthode de Barrs (1968) :

Les feuilles coupées au niveau de la base du limbe, sont pesées immédiatement (poids frais). Les feuilles sont ensuite placées dans des tubes à essai (1 tube / 10 feuilles / variété) contenant de l'eau de robinet pendant 4 heures à l'obscurité ; le poids de turgescence est déterminé. L'échantillon est ensuite mis à sécher à l'étuve à 80 ° c pendant 24 heures et pesé (poids sec).

La teneur relative en eau est ensuite calculée selon la formule :

$$TRE \text{ (\%)} = 100 (PF - PS) / (PT - PS)$$

Le poids spécifique foliaire (PSF) est déterminé par :

$$PSF \text{ (mg / cm}^2\text{)} = SF \text{ (cm}^2\text{)} / PS \text{ (mg)}$$
 Avec : PF : poids frais, PS : poids sec, PT : poids à la turgescence, SF : surface foliaire.

Le taux de protéines dans le grain est obtenu à partir de la formule : N % x 5.7, le taux d'azote ayant été obtenu par analyse au laboratoire.

2.3. Analyse des données

Les données collectées sont analysées selon le dispositif en blocs complètement randomisés, pour déterminer les différences significatives par variable (Steel et Torrie, 1980). Les corrélations intra et inter-sites sont aussi calculées pour étudier les similitudes de réponse des différentes variables mesurées et notamment celles liant le rendement et les variables d'intérêt pour cette étude.

Les variables d'intérêt sont la hauteur de la plante, la durée de la phase végétative et la biomasse aérienne accumulée au stade épiaison. Ces variables sont incluses dans divers modèles d'élaboration du rendement et leurs contributions directes et indirectes via les autres variables mesurées sont déduites (Dewey *et al* 1979).

2.4- Climat des sites expérimentaux de la campagne 2002/03

Les cumuls des précipitations enregistrées entre les mois de septembre 2002 et juin 2003, étaient de 387.5 et 521.8 mm respectivement pour les sites de Oum El Bouaghi et Setif (Figure1).

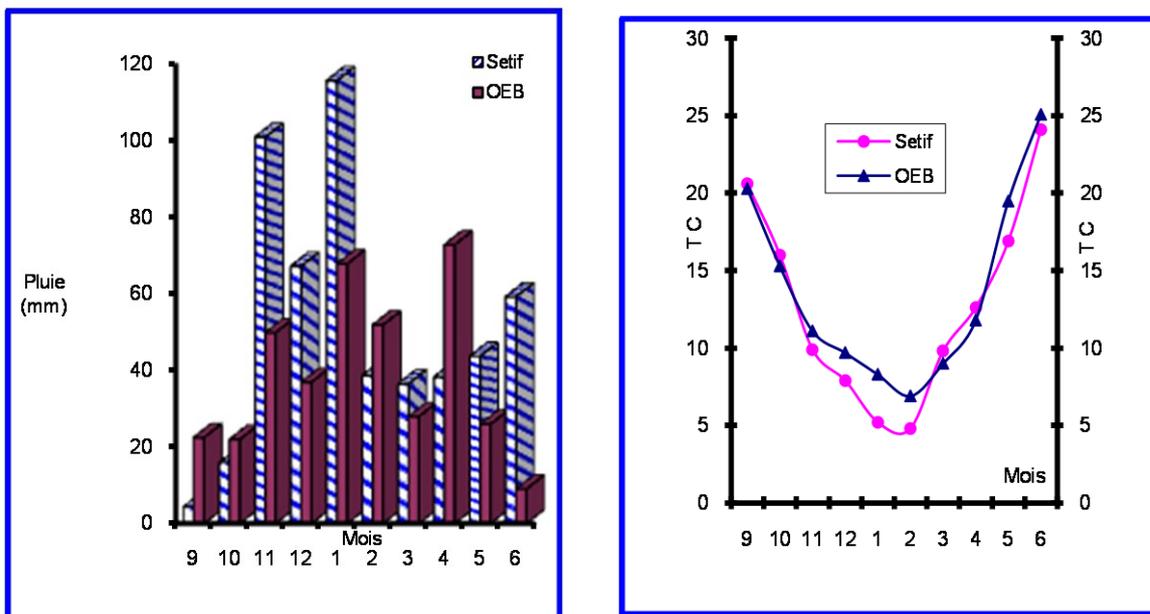


Figure - 1 - Variation de la température et des précipitations mensuelles de la campagne 2002/03 sur les sites expérimentaux d'Oum El Bouaghi et Sétif.

Le site de Sétif a reçu plus de pluies, surtout en hiver et au printemps, alors que celui de Oum El Bouaghi a été relativement plus pluvieux au début de l'automne. Le cumul d'Oum El Bouaghi a été plus élevé de 88 mm que la normale calculée pour la période 1987/1988 à 2002/2003. Cette campagne se classe en troisième position, du point de vu cumul sur les dernières 16 campagnes.

Du point de vu températures moyennes mensuelles, il a fait plus froid sur le site de Sétif au cours de l'hiver. Au cours de l'automne et le printemps les sites présentent des moyennes mensuelles très proches (Figure 1).

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1- Comportement genotypique intra- et inter-sites

Les valeurs moyennes des variables mesurées caractéristiques de l'échantillon de géotypes évalués sur les deux sites sont données dans le tableau 2. Pour identifier les caractères qui accompagnent l'expression du rendement grain, la comparaison intra site des valeurs prises par les 4 meilleurs géotypes à ceux qui sont les moins performants pour le rendement grain est faite.

Tableau -2- Valeurs moyennes des variables mesurées sur les deux sites expérimentaux de Sétif et Oum El Bouaghi.

Sites	OEB			Sétif			Ppds5%
	Mini	Max	Moy	Mini	Max	Moy	
NE (m2)	90	274	141	260	546.6	424.8	
PMG (g)	44.0	60.4	<u>49.5</u>	32.5	52.7	44.9	
NGM (/m2)	1798	9513	3932	3393	7506	4830.7	
NGE	18.3	34.7	<u>27.5</u>	6.7	20.0	11.8	
HT (cm)	58.6	94.8	<u>75.6</u>	54.6	96.0	69.6	
PVG (j)	117	126	121.5	131	142	135.7	

HI (%)	17.2	43.0	<u>27.5</u>	11.3	22.2	16.7
RDT (g/m ²)	100	430	192	147	271	217
BOE (g/m ²)	92	338	160.4	342	936	559.2
BOM (g/m ²)	100	1000	544	1034	1794	1328
VCV (g/m ² /j)	0.74	2.9	1.3	2.58	6.64	4.11
EUR (g/m ² /mm)	0.25	1.10	0.49	0.28	0.52	0.42
EUB (g/m ² /mm)	0.25	1.93	1.40	1.98	3.43	2.54

Cette comparaison montre que sur le site de Sétif les génotypes les plus performants sont Mrb5, Belikh2, Daki et Bicre. Par contre ceux qui sont les moins performants sont Ads, MBB, Senator et Waha.

Les différences entre ces deux groupes de génotype émergent surtout pour le nombre de grains par épi, le nombre de grains produit par m², l'efficacité d'utilisation de l'eau pour produire du grain, l'indice de récolte et la hauteur du chaume. Une augmentation des valeurs moyennes de ces variables, associée à une réduction de la hauteur du chaume sont en faveur des génotypes à haut rendement (Tableau 3).

Tableau –3- Valeurs moyennes des variables mesurées caractéristiques des 4 génotypes à haut (HRDT) et à faible rendement grain (FRDT) sur les deux sites expérimentaux de Sétif et Oum El Bouaghi.

Sites	Sétif		OEB	
	HRDT	FRDT	HRDT	FRDT
NE (m ²)	427.3	496.6	196.8	123.0
PMG (g)	43.9	43.4	48.4	48.6
NGM (/m ²)	5830	3811	5816	2813.2
NGE	14.09	7.82	29.2	22.4
HT (cm)	66.3	70.6	74.8	78.2
PVG (j)	134.9	135.2	119.3	123.8
HI (%)	19.6	12.4	37.8	25.2
RDT (g/m ²)	255.6	166.2	277.5	133.8
BOE (g/m ²)	540.8	544.3	217.5	125.7
BOM (g/m ²)	1315	1344	727.5	535.0
VCV (g/m ² /j)	4.01	4.03	1.74	1.02
EUR (g/m ² /mm)	0.48	0.31	0.71	0.34
EUB (g/m ² /mm)	2.51	2.57	1.87	1.37

Sur le site d'Oum El Bouaghi les génotypes les plus performants sont Derraa, Mrb5, Bicre et Waha. Par contre ceux qui sont les moins performants sont Sahell77 Belikh2, Cyprus1 et Beliouni. Mise à part le poids de 1000 grains, les différences entre ces deux groupes de génotypes existent pour l'ensemble des variables mesurées dont l'augmentation est en faveur d'un haut rendement. Un haut rendement sur ce site est associé à une réduction de la hauteur du chaume et de la durée de la phase végétative (Tableau 3).

La comparaison inter-sites montre que le site de Sétif a permis une meilleure expression de presque l'ensemble des variables mesurées hormis le nombre de grains par épi, le poids de 1000 grains, la hauteur du chaume et l'indice de récolte. Ces dernières variables se sont mieux exprimées sur le site d'Oum El Bouaghi (Tableau 2).

Parmi les génotypes performants, Mrb5 et Bicre montrent une large adaptation, aux deux sites. Daki et Waha montrent, plutôt, une adaptation spécifique à chaque site (Figure 2).

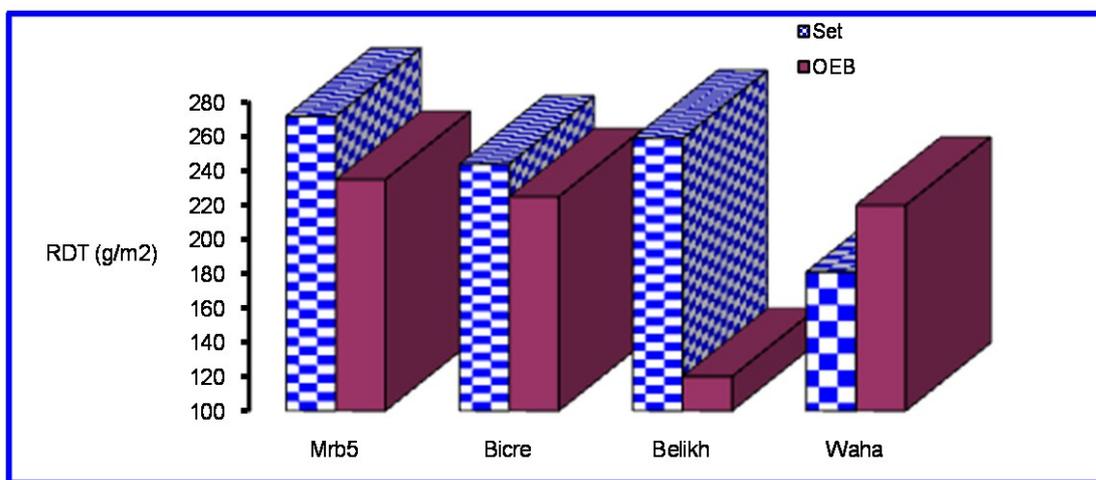


Figure-2- Performances de rendement grain de génotypes a adaptations spécifique (Belikh2 et Waha) et large (Mrb5 et Bicre).

Il ressort de ces résultats que lorsque le milieu permet l'expression du potentiel génétique de l'ensemble des variables morphologiques, la compensation est de type négatif. Les différences génotypiques de rendement sont dues à des différences exprimées chez un nombre réduit de variables liées, en relation avec le rendement (nombre de grains par épi sur le site Sétif). Par contre lorsque le milieu limite l'expression d'un grand nombre de variables morphologiques, les différences de rendement entre génotypes émergent suite à la contribution concomitante de plusieurs variables.

3.2- Liaisons entre les variables intra- et inter-sites

Les coefficients de simple corrélation entre les différentes variables mesurées sur les deux sites et entre les deux sites sont donnés dans les tableaux 4 et 5.

Tableau –4- Coefficients de simple corrélation entre les variables mesurées par site et inter-sites (au dessous = Setif, au dessus =OEB, diagonale = inter-sites).

	NE	PMG	NGM	NGE	HT	PVG	HI	RDT	BOE
NE	<u>0.075</u>	-0.459	0.902	0.200	-0.132	-0.009	0.782	0.887	0.525
PMG	-0.212	<u>-0.137</u>	-0.475	-0.247	0.181	0.073	-0.264	-0.326	-0.099
NGM	-0.024	-0.471	<u>-0.012</u>	0.581	-0.282	0.002	0.876	0.985	0.339
NGE	-0.763	-0.137	0.592	<u>-0.09</u>	-0.417	-0.182	0.401	0.586	-0.056
HT	-0.268	0.163	-0.410	-0.101	<u>-0.04</u>	0.122	-0.242	-0.271	0.156
PVG	-0.520	0.225	-0.222	0.189	0.711	<u>0.185</u>	0.278	-0.017	-0.334

HI	-0.245	0.262	0.575	0.519	-0.355	-0.178	<u>-0.106</u>	0.872	0.168
RDT	-0.155	0.200	0.731	0.564	-0.348	-0.154	0.797	<u>0.079</u>	0.361
BOE	-0.039	-0.378	0.131	0.084	0.294	0.326	-0.526	-0.154	<u>0.128</u>
BOM	0.202	-0.141	-0.056	-0.166	-0.166	0.075	-0.620	-0.061	0.699
VCV	0.034	-0.427	0.173	0.063	0.206	0.207	-0.523	-0.136	0.992
EUR	-0.155	0.200	0.731	0.564	-0.348	-0.154	0.797	1.000	-0.154
EUB	0.202	-0.141	-0.056	-0.166	0.166	0.075	-0.620	-0.061	0.699

Seuils: r5% = 0.444 et r1% = 0.561 pour n-2 = 18 ddl.

Tableau -5- Coefficients de simple corrélation entre les variables mesurées par site et inter-sites (au dessous = Setif, au dessus = OEB, diagonale = inter-sites).

	BOM	VCV	EUR	EUB
NE	<u>-0.331</u>	0.501	0.887	-0.331
PMG	0.163	-0.099	-0.326	0.163
NGM	-0.459	0.317	0.985	-0.459
NGE	-0.261	-0.049	-0.586	-0.261
HT	0.401	0.148	-0.271	0.401
PVG	-0.338	-0.405	-0.017	-0.338
HI	-0.728	0.128	0.872	-0.728
RDT	-0.442	0.339	1.000	-0.442
BOE	0.210	0.997	0.361	0.210
BOM	<u>0.215</u>	0.244	-0.442	1.000
VCV	0.716	<u>-0.189</u>	0.339	0.244
EUR	-0.061	-0.136	<u>0.079</u>	0.442
EUB	1.000	0.716	-0.061	<u>-0.052</u>

Seuils: r5% = 0.444 et r1% = 0.561 pour n-2 = 18 ddl.

Le rendement grain, objectif principal de la sélection chez l'espèce étudiée, est positivement et significativement corrélé avec l'efficacité d'utilisation de l'eau pour produire du grain, avec l'indice de récolte, le nombre de grains produits par unité de surface de sol et le nombre de grains par épi, sur le site de Sétif.

Ces liaisons indiquent que chez la majorité des génotypes évalués sur ce site, un haut rendement est la résultante de la capacité de la plante à faire une bonne utilisation des eaux de pluie pour produire du grain. Il est aussi le résultat d'une répartition équilibrée de la matière sèche accumulée entre les parties grain et paille, débouchant sur la production d'un nombre élevé de grains/m² qui se manifeste surtout chez les génotypes réussissant une bonne fertilité épi.

Sur le site d'Oum El Bouaghi, le rendement grain est positivement et significativement corrélé avec les mêmes caractères identifiés sur le site de Sétif, en plus du nombre d'épis/m² (Tableaux 4 et 5).

Sur ce second site le rendement grain est dépendant aussi des différences entre génotypes pour la production des épis /m², en plus des autres variables mentionnées. Le nombre d'épis et de grains par épi contribuent conjointement pour donner un nombre de grains/m² élevé.

La réalisation par un génotype donné d'un nombre d'épis/m² élevé concomitant un nombre de grains/épi élevé n'est possible que si la valeur prise par la première composante à se former (le nombre d'épis/m²) est relativement faible comparativement au potentiel. Ceci suite à l'effet de compensation qui lie ces deux composantes et qui est le plus souvent de type négatif.

Il ressort que sur les deux sites un haut rendement est le plus souvent issu de la réalisation d'un nombre de grains/m² élevé. Le nombre de grains/m² est lui même la résultante des épis/m² et des grains par épi. Ces deux composantes se forment au cours de la période pré-anthèse. Elles sont donc, de ce fait, bien représentées par la variable biomasse accumulée au stade épiaison.

La biomasse aérienne accumulée au stade épiaison est aussi dépendante de la hauteur du chaume et de la durée de la phase végétative. Est-il possible connaissant la biomasse aérienne accumulée au stade épiaison, de prédire le nombre de grains/m² et de ce fait le rendement grain, chez des génotypes de durée de phase végétative et hauteur de chaume connues?

3.3- Liaisons entre la hauteur du chaume, la durée de la phase végétative, la biomasse accumulée au stade épiaison et le rendement.

La biomasse aérienne accumulée au stade épiaison peut-être utilisée comme un indicateur de la capacité différentielle des génotypes à faire une bonne utilisation des facteurs du milieu au cours de la période de la pré- anthèse. Les génotypes qui accumulent rapidement une biomasse élevée au stade épiaison souffrent moins des effets des stress de la post-anthèse qui sont plus fréquents.

La biomasse aérienne accumulée au stade épiaison est la résultante de la contribution de plusieurs caractères comme la hauteur du chaume, la durée de la phase végétative, la vitesse de croissance végétative et le nombre de grains produits par unité de surface de sol.

Les effets directs et indirects de ces variables sur la réalisation du rendement grain sont étudiés selon les modèles d'élaboration du rendement donnés sur la figure 3.

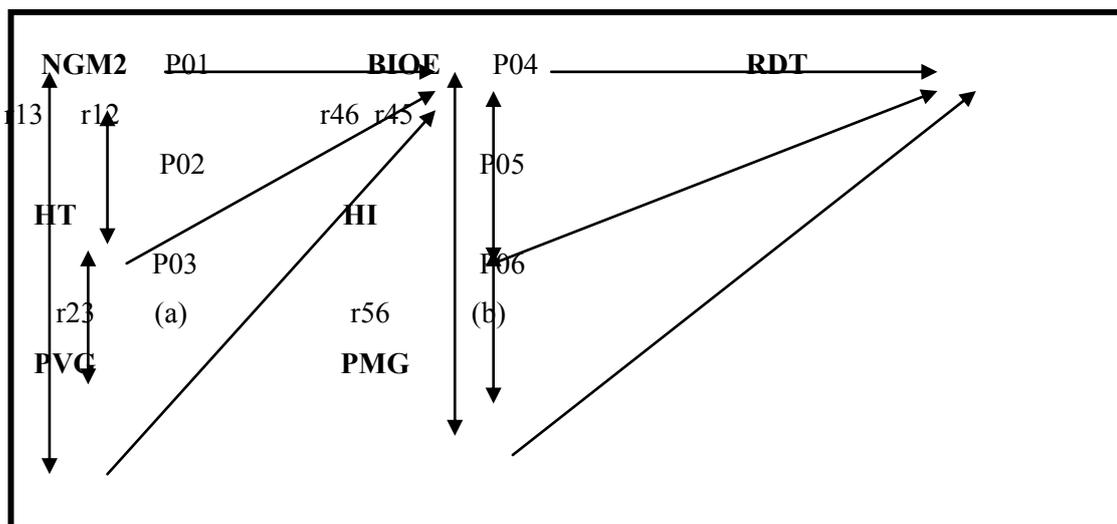


Figure-3- Modèles d'élaboration du rendement du blé dur testé.

Le modèle (a) stipule que la biomasse aérienne accumulée au stade épiaison est la résultante des contributions de la hauteur du chaume, de la durée de la phase végétative et du nombre de grains/m². La biomasse aérienne accumulée au stade épiaison contribue, avec l'indice de récolte et le poids de 1000 grains, au rendement grain final (Modèle b).

L'effet direct le plus élevé sur la formation de la biomasse mesurée au stade épiaison, sur le site d'OEB, est celui du NGM2. Il est suivi par celui de la hauteur du chaume. La durée de la phase végétative a peu d'effet direct sur la formation de la biomasse aérienne. Les effets indirects sont faibles à nuls (Tableau 6).

Pour le rendement grain et sur le même site, les effets directs les plus élevés sont ceux de la biomasse et de l'indice de récolte. Celui du poids de 1000 grains est nul. Les effets indirects sont faibles à nuls (Tableau 7). Sur le site de Sétif, le NGM2 exerce un effet direct relativement élevé sur la formation de la biomasse comparativement à la corrélation qui lie ces deux variables (Tableau 6). L'effet indirect du

NGM2 sur la biomasse via la hauteur du chaume est aussi appréciable en valeur mais de signe négatif. Une paille haute conduit à une faible production de grains/m², ce qui réduit, indirectement, de la contribution de ce caractère à la formation de la biomasse aérienne. L'effet indirect par le biais de la durée de la phase végétative est nul (Tableau 6). L'effet direct de la hauteur du chaume sur la biomasse aérienne est de même magnitude que la corrélation entre ces deux caractères. Les effets indirects sont relativement élevés et de signes négatifs via le NGM2 et positifs via la durée de la phase végétative (Tableau 6). Un faible NGM2 est associé à un chaume élevé, ainsi qu'une longue durée de la phase végétative, d'où la contribution indirecte à la biomasse aérienne. L'effet direct de la durée de la phase végétative est élevé. Il est associé à des effets indirects nuls via le NGM2 et de même magnitude que l'effet direct via la hauteur (Tableau 6).

Tableau –6- Effets directs et indirects des variables contribuant à la formation de la biomasse aérienne accumulée au stade épiaison.

Site OEB		
- Effet direct du NGM2 sur la BIOE =	P01	=0.3820
- Effet indirect via la HT =	r12P02	=-0.0608
- Effet indirect via la PVG =	r13P03	=-0.0001
- r BIOE/NGM2		=0.7618
- Effet direct de la HT sur la BIOE =	P02	=0.2156
- Effet indirect via le NGM2 =	r12P01	=-0.0231
- Effet indirect via la PVG =	r23P03	=-0.0083
- r BIOE/HT		=-0.0281
- Effet direct de la PVG sur la BIOE =	P03	=-0.0683
- Effet indirect via le NGM2 =	r13P01	=0.0002
- Effet indirect via la HT =	r23P02	=0.0263
- r BIOE/PVG		=-0.0370
Site Sétif		
- Effet direct du NGM2 sur la BIOE =	P01	=0.2873
- Effet indirect via la HT =	r12P02	=-0.1111
- Effet indirect via la PVG =	r13P03	=-0.0421
- r BIOE/NGM2		=0.1329
- Effet direct de la HT sur la BIOE =	P02	=0.2711
- Effet indirect via le NGM2 =	r12P01	=-0.1178
- Effet indirect via la PVG =	r23P03	=0.1349
- r BIOE/HT		=0.2938
- Effet direct de la PVG sur la BIOE =	P03	=0.1897
- Effet indirect via le NGM2 =	r13P01	=-0.0637
- Effet indirect via la HT =	r23P02	=0.1927
- r BIOE/PVG		=0.3261

Pour le rendement grain, la biomasse aérienne a un effet direct appréciable positif et un effet indirect important, mais de signe négatif, via l'indice de récolte. L'effet indirect via le poids de 1000 grains est nul (Tableau 7). Une biomasse aérienne élevée est souvent associée négativement avec l'indice de récolte, d'où la contribution négative de ce caractère via l'indice de récolte.

Tableau -7- Effets directs et indirects des variables contribuant a la formation du rendement grain.

Site OEB		
- Effet direct de la BIOE =	P04	=-0.6654
- Effet indirect via HI =	r45P05	=-0.0560
- Effet indirect via PMG =	r56P06	=-0.0069
- r RDT/BIOE		=-0.7622
- Effet direct de HI =	P05	=-0.3316
- Effet indirect via BIOE =	r45P04	=-0.1118
- Effet indirect via PMG =	r46P06	=-0.0186
- r RDT/HI		=-0.5084
- Effet direct du PMG =	P06	=-0.0705
- Effet indirect via BIOE=	r46P04	=-0.0659
- Effet indirect via la HI =	r56P05	=-0.0875
- r RDT/PMG		=-0.3256
Site Sétif		
- Effet direct de la BIOE =	P04	=-0.3877
- Effet indirect via HI =	r45P05	=-0.5159
- Effet indirect via PMG =	r56P06	=-0.0349
- r RDT/BIOE		=-0.1536
- Effet direct de HI =	P05	=-0.9800
- Effet indirect via BIOE =	r45P04	=-0.2092
- Effet indirect via PMG =	r46P06	=-0.0242
- r RDT/HI		=-0.7971
- Effet direct du PMG =	P06	=-0.0925
- Effet indirect via BIOE=	r46P04	=-0.1503
- Effet indirect via la HI =	r56P05	=-0.2567
- r RDT/PMG		=-0.1998

L'effet direct de l'indice de récolte sur le rendement grain est le plus élevé en valeur. Ce caractère a un effet indirect négatif via la biomasse aérienne et un effet indirect nul via le poids de 1000 grains (Tableau 7). Le poids de 1000 grains présente un effet direct nul. L'effet indirect est négatif via la biomasse aérienne, et positif via l'indice de récolte (Tableau 7).

Il ressort de cette analyse que, sur les deux sites, le nombre de grains/m² et la hauteur ont des effets directs relativement importants sur la formation de la biomasse aérienne accumulée au stade épiaison. L'effet direct de la durée de la phase végétative est peu évident chez le jeu de génotypes étudiés.

Pour le rendement grain et sur les deux sites, la biomasse aérienne et l'indice de récolte présentent des effets directs assez élevés en valeur. Le poids de 1000 grains, par contre, a peu d'effet. Les effets indirects sont relativement faibles a nuls.

Ces résultats sont issus d'un jeu de génotypes dont la sélection n'a pas été faite sur la base des caractères d'intérêts pour cette étude. Cependant on peut se poser la question comment utiliser ces résultats dans le processus de sélection ?

4. DISCUSSION

La biomasse aérienne accumulée au stade épiaison est indicatrice de l'activité photosynthétique de la période de pré-anthèse. Cette période est relativement plus favorable à la culture dans les zones semi-arides. Il est donc souhaitable de développer un matériel végétal qui se distingue par sa capacité à accumuler plus de biomasse aérienne au stade épiaison.

Cette biomasse doit être associée à la production d'un nombre élevé de grains/m² et à un chaume de taille intermédiaire, pour réduire des effets indirects négatifs sur le nombre de grains/m². De tels géotypes sont plus aptes à donner des rendements élevés et stables dans les conditions de productions des zones semi-arides.

Le développement de variétés à hauts rendements et stables, plus adaptées à la variation climatique des zones semi-arides, reste un important objectif à atteindre en amélioration du blé dur. Cet objectif est d'autant plus important que la distribution des pluies et l'intensité des stress sont irrégulières et de nature intermittente.

Pour une année moyenne, l'essentiel des pluies associées à des températures basses sont enregistrés en hiver- début printemps. A partir de cette date, les pluies deviennent rares et la température de l'air s'élève rapidement. Ces deux facteurs climatiques deviennent des contraintes à la croissance de la plante (Mekhlouf *et al.* 2005).

L'itinéraire de formation du rendement suit une cinétique qui débute par la formation des épis, suivi des sites des grains par épi. Il se termine par le remplissage des grains (Grafius et Hamid, 1978). Les stress précoces affectent la formation des épis et les sites des grains par épi. Alors que les stress plus tardifs affectent beaucoup plus le poids individuel du grain et le nombre de grains formés par unité de surface ensemencée (Fischer 1985).

L'effet de compensation entre composantes du rendement rend souvent l'effet des stress moins visible. Ainsi une forte réduction des épis produits par m² est compensée par une augmentation de la fertilité des épis voire par celle du poids du grain. De même une réduction des grains produits par m² est compensée par une augmentation du poids individuel du grain (Wardlaw 2002, Bahlouli *et al.* 2005).

Etudiant les changements intervenus dans l'architecture de la plante des nouvelles sélections réalisées depuis plusieurs décennies, Slafer et Andrade (1991) notent que l'amélioration du rendement fait suite à celui de l'indice de récolte, avec peu de changements de la biomasse produite. L'amélioration du rendement s'est faite par augmentation du nombre de grains produits par unité de surface semée plus que par l'augmentation du poids individuel du grain.

Les bases photosynthétiques expliquant les changements intervenus dans le rendement grain sont (1) la quantité totale de radiation active interceptée par la culture (2) l'efficacité de conversion de la radiation interceptée en matière sèche, et (3) la répartition des photo- assimilats vers les différents organes reproductifs ou composantes du rendement grain (Gifford *et al.* 1984).

Austin *et al.* (1980) mentionnent que la répartition de la matière sèche produite en grain peut atteindre le seuil de 62%. A partir de cette valeur de l'indice de récolte, l'amélioration du rendement grain est à chercher via une augmentation de la biomasse produite (Siddique *et al.* 1989).

Comme le rendement grain est fortement corrélé avec le nombre de grains produits par unité de surface de sol, ce puits est donc un facteur limitant l'obtention de hauts rendements grains. Thorne et Wood (1987) ainsi que Vargas *et al.* (1999) mentionnent que l'amélioration de l'activité photosynthétique, tout juste avant l'anthèse, conduit à l'augmentation de ce puits (le NGM2) et du rendement grain. La période pré-anthèse est donc importante pour la matérialisation du nombre de grains produit par m² et du rendement grain.

Savin et Slafer (1991) trouvent une corrélation significative entre le nombre de grains/m², le poids de matière sèche de l'épi au stade épiaison. La taille des organes reproductifs à l'anthèse est donc un indicateur du nombre de grains produits par m² au stade épiaison.

Hanson *et al.* (1985) font remarquer que l'augmentation de la biomasse aérienne au stade épiaison peut venir d'une haute paille, comme c'est le cas des variétés anciennes. La hauteur associée à une meilleure répartition de la matière sèche produite conduit le plus souvent à l'amélioration du nombre de grains produits/m² et du rendement selon Brookey et Kirby (1981).

5. CONCLUSION

La production agricole en zone semi-aride d'altitude est fortement limitée par plusieurs contraintes abiotiques, dont, les principales sont la sécheresse et les gelées printanières. Ces deux phénomènes très fréquents, créent des variations importantes du rendement en grain d'une année à l'autre. Stabiliser la production sous ces conditions est aussi importante que de chercher à l'améliorer. Certains génotypes se stabilisent mieux que d'autres forts en cela de certains de leurs paramètres phéno-morphologiques, cette modeste étude a essayé de mettre en relief certains de ces paramètres et prouver leur rôle dans l'obtention de rendements acceptables et la minimisation des effets néfastes des contraintes abiotiques caractéristiques du milieu semi-aride.

Les résultats qui peuvent en être tirés sont regroupés dans les points suivants :

- Un haut rendement est la résultante de la capacité de la plante à faire une bonne utilisation des eaux de pluie pour produire du grain, d'une répartition équilibrée de la matière sèche accumulée entre les parties grain et paille c'est à dire un bon indice de récolte débouchant sur la production d'un nombre élevé de grains par mètre carré. Sur les deux sites, un haut rendement est le plus souvent issu de la réalisation d'un nombre de grains par mètre carré élevé.
- La biomasse aérienne accumulée au stade épiaison, partie intégrante dans la formation des deux composantes du nombre de grains /m² qui sont les épis / m² et les grains par épi, permet aux génotypes dont la capacité à accumuler cette biomasse est élevée à souffrir moins des effets des stress de la post anthèse.
- L'étude des effets directs et indirects montre que le nombre de grains/m² et la hauteur contribuent fortement à la formation de la biomasse aérienne accumulée au stade épiaison.
- La biomasse aérienne et l'indice de récolte de par leurs effets directs assez élevés participent à l'élaboration du rendement.
- Parmi les génotypes testés, MRB5 et Bicre ont montré une large adaptation aux deux sites, tandis que Daki et Waha ont montré plutôt une adaptation spécifique à chaque site.

Ces résultats nous amènent à dire qu'il est souhaitable de développer un matériel végétal qui se distingue par sa capacité à accumuler plus de biomasse aérienne au stade épiaison. Cette biomasse doit être associée à la production d'un nombre élevé de grains / m² et à un chaume de taille intermédiaire pour réduire des effets indirects négatifs sur le nombre de grains/m².

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Acevedo E., Craufurd PQ., Austin RD. & Perez Marco P., 1991. Phénologie et production du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi aride d'altitude. *Ann.Agron.INA*, vol. 18, 24-36.
- [2] Annicchiarico P., 2002. Genotype x environment interactions. Challenges and opportunities for plant breeding and cultivar recommendations. *Plant Production and Protection Paper 174*. Roma: FAO.
- [3] Annicchiarico P., Bellah F. & Chiari T., 2005. Defining sub regions and estimating benefits for a specific adaptation strategy by breeding programs: a case study. *Crop Sci*, vol. 45, 1741-1749.
- [4] Austin. R B, Morgan C L, Ford. M A, Balckwell. R D (1980) contribution to grain yield from pre anthesis assimilation in tall and dwarf phenotypes in two contrasting seasons. *Annals of Botany*, vol. 45, 309 – 319.
- [5] Bahlouli F., Bouzerzour H., Benmahammed A. & Hassous K. L., 2005. Selection of high yielding and risk efficient durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars under semi-arid conditions. *Pak. J. Agron*, vol. 4, 360-365.
- [6] Bahlouli F., Bouzerzour H., Benmahammed A., 2005b. selection of stable and high yielding cultivar of durum wheat under semi-ard onditions. *Pakistan Journal of Agronomy*, vol. 4, 360 – 365.
- [7] Barrs, H.D., 1968. Determination of water deficits in plant tissue. In: KOZLOWSKI, T.T. (Ed) *Water deficits and plant growth*. New York, Academic Press, 1968. v.1, 235-368.
- [8] Belaid A., 2000. The economics of durum wheat production in WANA : Past trends and future prospects. *Proceedings of the symposium blé 2000, enjeu et stratégies*. 49 – 70.
- [9] Benmahammed A., Djekoune A., Bouzerzour H.& Hassous K L.,2005. Genotype X year interaction of barley grain yield and its relationship wh plant height, earliness and climatic factors under semi-arid growth conditions. *Dirasat, Agricultural Sciences*, vol. 32, 239 – 247.

- [10] Bensemane I. & Bouzerzour H., 2005. Rythme de développement des variétés ontrastées de blé dur (*Triticum durum* Desf.). I-Analuse de la croissance –développement. Annales de la recherche Agronomique INRA.
- [11] Boukeria, 2004; Bouzerzour H. & Dekhili M., 1995. Heritabilities, gains from selection and genetic correlations for grain yield of barley grown in two contrasting environments. *Field Crops Res*, vol. 41, 173-178.
- [12] Bouzerzour H., Benmahammed A., Benkharbache N. & Hassous K I., 2002. Contribution des nouvelles obtentions à l'amélioration et à la stabilité du rendement d'orge (*Hordeum vulgare* L.) en zone semi-aride d'altitude. *Revue Recherche Agronomique de l'INRAA*, vol. 10, 45 -58.
- [13] Chetmi D., 2009. Etude comparative de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf) et analyse diallèle de leurs hybrides F1. Thèse de magister. INA. El Harrach. 96 pages.
- [14] Eljaafari S. & Paul R., 1993. Accumulation foliaire de proline et résistance à la sécheresse chez le blé (*Triticum aestivum* L) *Arch. Int. Phys. Biochys*, Vol. 101 : 88 – 92.
- [15] Fischer A., 1985. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *J. Agr. Sci. Camb*, vol. 105, 447 – 461.
- [16] Hamid ZA. & Grafius JE., (1978). Developmental allometry and its implication to grain yield in barley. *Crop Sci*, vol. 18, 83-86.
- [17] Hanson AD., May AM., Grumet R., Bode J., Jamiesson JC. & Rhodes D., 1985. Betaine synthesis in chenopods : localisation in chloroplasts. *Proceedings of the National Academy of Sciences. USA*; vol. 82, 3678 – 3682.
- [18] Mekhlouf A., 1998. Etude de la transmission héréditaire des caractères associés au rendement en grains et de leur efficacité en sélection chez le blé dur (*Triticum durum* Desf). Thèse de magister. INA. El Harrach. 67 pages.
- [19] Mekhlouf A., Bouzerzour H., Benmahammed A., Hadj Sahraoui N. & Harkati N., 2005. Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi aride. *Sécheresse*.
- [20] Merah O., Monneveux P., Nachit M. & Deléens E., 1999. La composition isotopique du carbone, critère intégrateur du fonctionnement photosynthétique : application à l'amélioration génétique du blé dur en conditions méditerranéennes. *Cahiers Agricultures*, Vol. 8, 37 – 47.
- [21] Richards RA., Rebtzke GJ., Van Herwaarden AF., Duggan BL. & Condon AG., 1997. Improving yield in rainfed environments through physiological plant breeding. *Dryland Agriculture*, vol. 36, 254 – 266.
- [22] Savin R. & Slafer GA., 1991. Shading effects on the yield of a wheat cultivar. *J. Agri. Sci. (Cambridge)* 116 : 1 – 7.
- [23] Sayre KD., Rajaram S. & Fisher RA., 1998. Yield potential progress in short bread wheat in northern Mexico. *Crop Science*, vol. 37, 42 – 46.
- [24] Siddique K H M., Belford R k., Perry M W. & Tennant D., 1989. Growth development an light interception of old and modern whet varieties in Mediterranean enironment. *Aust. J. Agri. Res*, Vol. 40: 473 – 487.
- [25] Slafer G A. & Andrade F H., 1990. Genetic improvement effect on preanthesis phenological attributes related to wheat grain yield, *FCR.23* : 255 – 263.
- [26] Steel RGD. & Torrie JH., 1980. Principles and procedures of statistics, a biometrial approach. Mc Graw Hill Inc. 633 pp.
- [27] Thorne G N. & Wood D W., (1987). Effects of radiation and temperature on tiller survival, grain number and grain yield in winter wheat. *Annals of Botany*, vol. 59, 413-42
- [28] Wardlaw IF., 2002. Interaction between drought and chronic high temperature during kernel filling in wheat in a controlled environment. *Annals of Botany*, Vol. 90: 469- 476.
- [29] Vargas M., Crossa J., Van Eeuwijk FA., Ramirez ME. & Sayre K., 1999. Using partial least squares regression, factorial regression and AMMI models for interpreting genotype by environment interaction. *Crop Sci*, vol. 39, 955 - 967.